

## Pengaruh Tegangan Sisa Akibat Fabrikasi Terhadap Balok Baja Dengan Profil I

Ida Barkiah<sup>1</sup>

**Abstrak** – Suatu struktur yang terdiri dari balok yang menggunakan profil baja, pada saat pembebanan dikerjakan, sebelum mencapai momen leleh pada bagian tertentu dari profil baja tersebut sudah mengalami leleh terlebih dahulu atau yang dinamakan daerah inelastis. Hal ini dimungkinkan karena profil baja sebelum beban dikerjakan sudah terdapat tegangan sebagai sisa dari proses fabrikasi yang menggunakan sistem hot rolled. Analisis dilakukan dengan memperhitungkan perilaku elastoplastis penampang yang dilakukan dengan memodelkan proses palstifikasi yang terjadi pada penampang akibat lentur dan adanya tegangan sisa tersebut.

---

*Keywords* - tegangan sisa, profil I, elastoplastis.

---

### PENDAHULUAN

#### *Latar Belakang*

Suatu struktur terdiri dari beberapa elemen yang membentuknya, yaitu antara lain balok dan kolom. Beban yang bekerja pada balok menghasilkan momen dan geser sehingga beban yang bekerja pada struktur menyebabkan struktur berdeformasi. Deformasi akan bersifat elastis jika tegangan yang bekerja masih dalam batas elastis. Setelah batas elastis material terlewati maka akan menyebabkan struktur mengalami deformasi plastis ( inelastis deformation) dan kelelahan akan mulai terbentuk pada sebagian penampang. Penambahan beban akan menyebabkan membesarnya kelelahan yang terjadi. Selain penambahan beban, untuk balok dengan sayap lebar seperti balok dengan profil I, tegangan sisa sangat berpengaruh terhadap terjadinya kelelahan karena dengan tebal yang berbeda antara bagian sayap (flens) dan badan (web) maka terjadi perbedaan tegangan sepanjang penampang.

Tegangan sisa di sebabkan oleh beberapa faktor antara lain karena proses fabrikasi baja tersebut. Didalam beberapa kasus tegangan sisa ini berpengaruh besar terhadap terjadinya kelelahan, karena tegangan yang disebabkan oleh beban luar belum mencapai tegangan

leleh yang diijinkan tetapi karena dikombinasi dengan tegangan sisa menyebabkan kelelahan dini yang terjadi di sebagian penampang. Keadaan dimana sebagian penampang telah mengalami leleh sementara bagian lainnya masih elastis disebut elastoplastis. Pada akhirnya penambahan beban menyebabkan seluruh penampang menjadi leleh dan fully plastic. Penampang akan berperilaku elastis linear sampai mencapai batas elastisnya dan akan bersifat elastoplastis setelah sebagian penampang mengalami leleh dan bersifat fully plastic apabila seluruh penampang mengalami leleh.

Keadaan leleh pada penampang tergantung dari kondisi gaya dalam yang bekerja. Momen lentur yang terjadi akibat beban vertikal yang menghasilkan momen lentur akan menyebabkan leleh terjadi pada serta atas dan bawah penampang. Selain akibat pembebanan yang terjadi pada balok maka kombinasi antara tegangan normal akibat momen lentur dengan tegangan sisa dapat mempercepat ataupun memperlambat leleh yang terjadi tergantung dari arah tegangan yang terdapat pada penampang tersebut.

#### *Maksud dan Tujuan*

Tulisan yang dilakukan ini bertujuan untuk mendapatkan seberapa besar pengaruh tegangan sisa terhadap kelelahan yang terjadi pada balok baja dengan profil I

---

<sup>1</sup> Staf pengajar Fakultas Teknik Unlam Banjarmasin

### Tinjauan Pustaka

Di dalam balok yang terbuat dari baja, seperti yang telah dikemukakan dalam bab terdahulu bahwa tegangan sisa sangat berpengaruh terhadap proses kelelahan yang terjadi dimana tegangan yang terjadi akibat dari pembebanan yang digabungkan dengan tegangan sisa dapat mempercepat atau memperlambat terjadinya kelelahan yang tergantung dari arah dimana tegangan-tegangan tersebut bekerja sehingga tegangan leleh yang terjadi adalah

$$\sigma_y = \frac{M_x}{S_x} + \sigma_{\pi} \text{ atau } \left( \frac{M_x}{M_y} \right)_{leleh} = 1 \frac{\sigma_{\pi}}{\sigma_y} \dots\dots(1)$$

Untuk perencanaan balok dalam keadaan inelastis terdapat 2 (dua) metode, yaitu :

- Perencanaan berdasarkan tegangan yang diijinkan, dimana balok akan lebih efisien jika momen maksimum dikalikan dengan faktor beban nilainya mendekati nilai momen leleh ( $M_y$ )
- Perencanaan berdasarkan keadaan plastis, dimana momen maksimum sama dengan momen plastis

Di dalam perencanaan balok inelastis terjadi kecil sehingga ketidaksempurnaan bentuk balok dapat diabaikan. Untuk menggambarkan kondisi inelastis tersebut dapat dilihat pada

balok persegi empat yang terbuat dari material yang mempunyai bagian elastis, plastis dan strain hardening seperti pada gambar 1. Jika penampang mendapat beban momen  $M$  maka kemungkinan distribusi tegangannya adalah elastis penuh (gambar 1.a), sebagian elastis dan sebagian plastis/ elastoplastis (gambar 1.b) atau elastis, plastis dan strain hardening (gambar 1.c)

Asumsi yang digunakan adalah :

- Bidang datar akan tetap datar sebelum dan sesudah terjadinya momen.
- Defleksi yang terjadi dianggap kecil

Momen luar yang bekerja harus dapat ditahan oleh momen dalam yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :  $\int \sigma y dA$ , sehingga dalam batas elastis :

$$M = \sigma \frac{bd}{6} \dots\dots\dots(2)$$

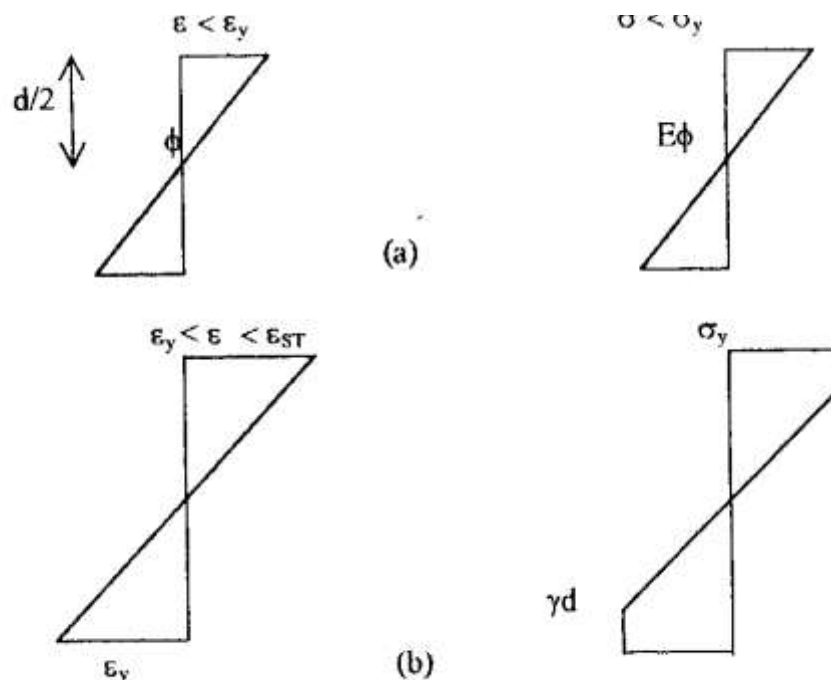
Dari diagram tegangan regangan pada gambar 1.a dapat dilihat bahwa :

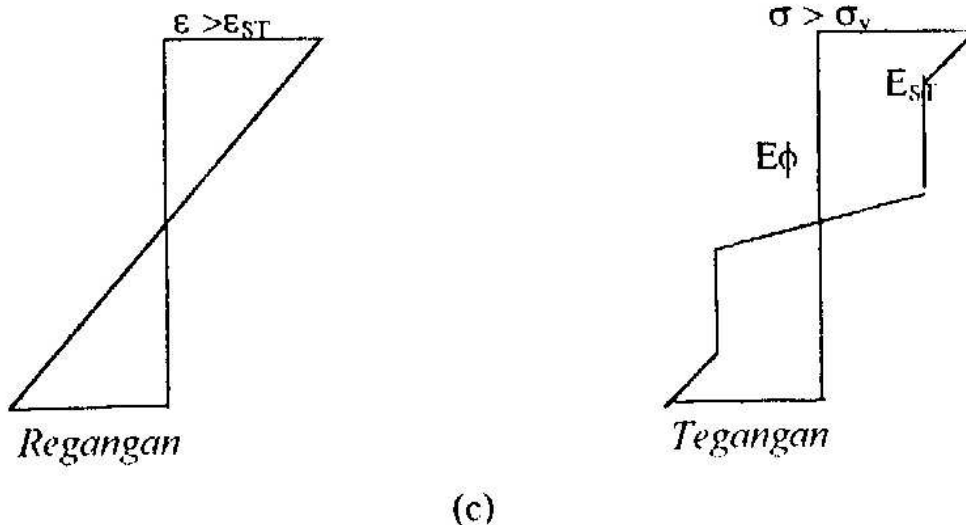
$$\tan \theta E = \frac{\sigma}{d/2} \dots\dots\dots(3)$$

dimana  $\theta$  adalah kurvature.

Momen luar yang bekerja harus dapat ditahan oleh momen dalam :  $M = \int \sigma y dA$ , sehingga dalam batas elastis :

$$M = \sigma \frac{bd}{6} \dots\dots\dots(4)$$





(c)  
Gambar 1. Distribusi tegangan pada penampang

- Elastis
- Elastoplastis
- Strain-hardened

Dari diagram tegangan-tegangan dapat dilihat bahwa :

$$\tan \phi E \equiv \phi E = \frac{\sigma}{d/2} \dots\dots\dots (5)$$

dimana  $\phi$  adalah kurvature.

Dari berbagai persamaan diatas dapat dihitung kurvature pada saat mulai terjadi leleh yaitu :

$$\phi_y = 2 \sigma_y / dE \dots\dots\dots (6)$$

sehingga didapatkan hubungan antara momen dan kurvature dalam batas elastis :

$$M/M_y = \phi/\phi_y \quad (0 < \phi/\phi_y < 1) \dots\dots\dots (7)$$

$$M = bd^2 \sigma_y / 4$$

Momen luar yang bekerja harus dapat ditahan oleh momen dalam :  $M = \int \sigma y dA$  dalam batas elastis :

$$M = \sigma \frac{bd}{6} \dots\dots\dots (8)$$

Dari diagram tegangan –tegangan dapat dilihat bahwa :

$$\tan \phi E \equiv \phi E = \frac{\sigma}{d/2} \dots\dots\dots (9)$$

dimana  $\phi$  adalah kurvature.

Dari berbagai persamaan diatas dapat dihitung kurvature pada saat mulai terjadi leleh yaitu :

$$\phi_y = 2 \sigma_y / dE \dots\dots\dots (10)$$

Sehingga didapatkan hubungan antara momen dan kurvature dalam batas elastis :

$$M/M_y = \phi/\phi_y \quad (0 < \phi/\phi_y < 1) \dots\dots\dots (11)$$

$$M = bd^2 \sigma_y / 4$$

## METODOLOGI

Metodologi yang digunakan untuk penulisan ini adalah :

- studi pustaka, untuk mendapatkan data-data serta informasi yang diperlukan sehubungan dengan permasalahan ini
- memodelkan perilaku elastoplastis penampang akibat dari tegangan yang terjadi akibat beban luar yang digabungkan dengan tegangan sisa akibat proses fabrikasi.

## DATA DAN HASIL ANALISIS

Distribusi dan arah tegangan sisa dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti untuk profil baja dengan bentuk I atau yang biasa disebut dengan profil sayap lebar yang dilambangkan dengan WF ( Wide Flange

Shape) dimana akibat perbedaan tebal antara bagian flens degna web sehingga setelah pengerjaan panas atau pengelasan dalam proses pembuatannya, bagian ujung flens mengalami pendinginan lebih cepat dari pada bgian flens tengah maupun bagian web. Akibat hal tersebut maka bagian ujung flens mengalami tegangan sisa tekan sedangkan bagian tengah flens dan web mengalmi tegangan sisa tarik.

tekan dengan tegangan sisa tarik, yaitu pada persamaan 12.

Dari persamaan 12 diatas diperoleh nilai perbandingan antara  $\sigma_{rt}$  dengan  $\sigma_{rc}$  yaitu :

$$\sigma_{rt} = \left( \frac{bt}{bt + (d - 2t)w} \right) \sigma_{rc} \dots\dots\dots (13)$$

sedangkan  $\sigma_{rt}$  diambil sebesar 0,3  $\sigma_y$

$$\int_A \sigma_T dA = 0 = \sigma_n (d - 2t)w + 4t \left( \frac{\sigma_{rt}}{2} \right) \left( \frac{b}{2} - \frac{b\sigma_{rt}}{2\sigma_{rt} + 2\sigma_{rc}} \right) - 4t \left( \frac{\sigma_{rc}}{2} \right) \left( \frac{\sigma_{rc}}{2} \right) \left( \frac{b\sigma_{rc}}{b\sigma_{rc} + b\sigma_{rc}} \right) \dots\dots\dots (12)$$

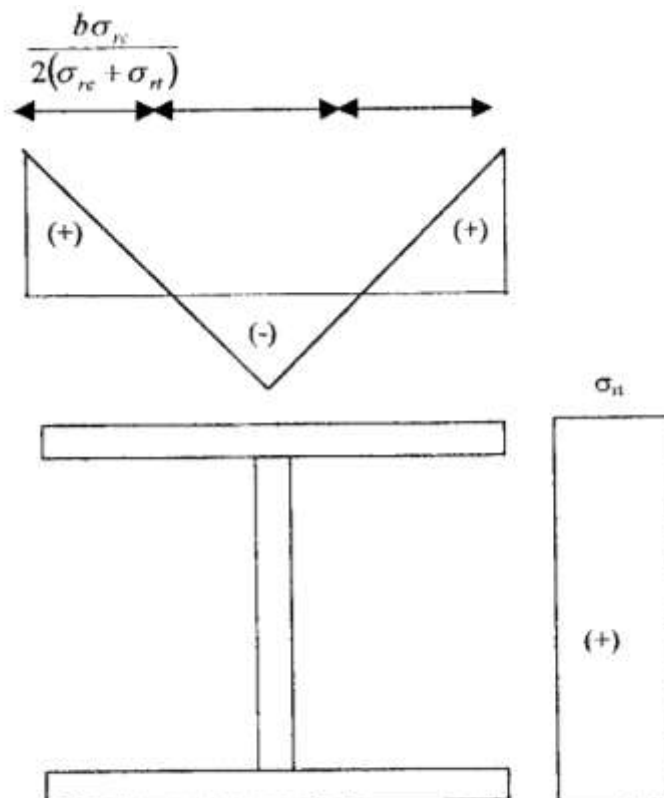
Dari gambar 2 dapat dilihat distribusi tegangan sisa untuk penampang dengan sayap lebar yang telah diidealisasi. Untuk bagian web terdapat tegangan sisa tarik yang konstan sedangkan pada bagian flens diasumsikan linear dari tegangan sisa tarik pada bagian tengah flens sampai dengan tegangan sisa

Tegangan yang terjadi dalam balok dari profil baja akibat pembebanan yang disuperposisikan dengan tegangan sisa dapat memperlambat ataupun mempercepat awal kelelahan tergantung dari arah tegangan yang bekerja pada penampang tersebut, misalkan untuk tegangan normal akibat momen lentur :

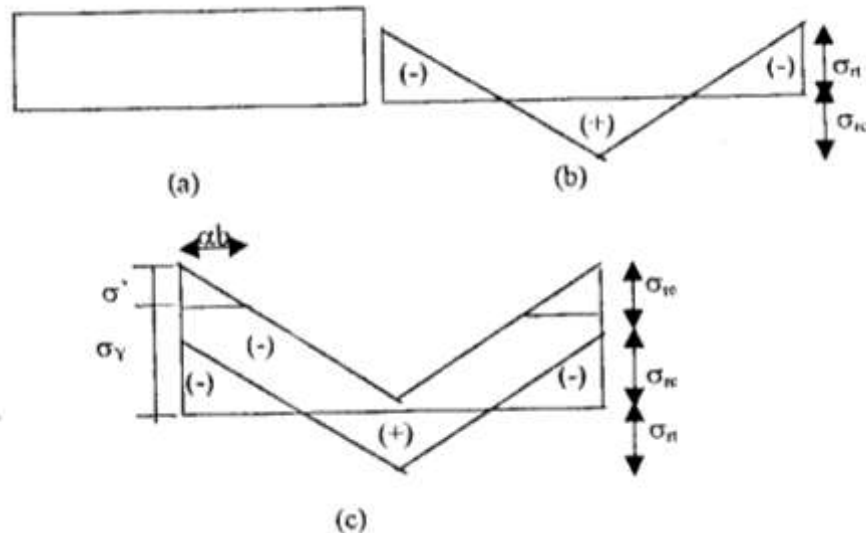
$$\sigma_x = \frac{M_x}{S_x}, \quad \sigma_y = \frac{M_y}{S_y} + \sigma_{rc}, \quad \left( \frac{M_x}{M_y} \right)_{leleh} = 1 - \frac{\sigma_{rc}}{\sigma_y} \dots\dots\dots (14)$$

tekan pada kedua ujung flens baik untuk flens atas maupun flens bawah. Dengan menggunakan persamaan keseimbangan akan diketahui perbandingan antara tegangan sisa

dimana :  $\sigma_x$  = tegangan normal dalam arah x-x  
 $\sigma_y$  = tegangan leleh



Gambar 2. Distribusi tegangan sisa



Gambar 3. a. Distribusi tegangan akibat beban luar  
b. Distribusi tegangan sisa di flens atas  
c. Superposisi tegangan akibat beban luar dengan tegangan sisa

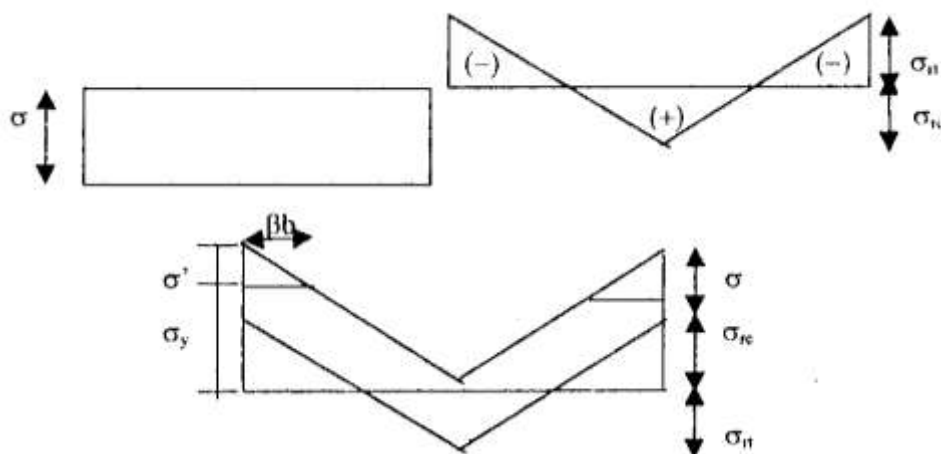
$M_y$  adalah momen leleh maka leleh akan terjadi ketika momen lentur yang terjadi akibat momen luar  $M_x = 0,7 M_y$ .

Di dalam memperkirakan respon inelastis lebih kompleks daripada struktur masih dalam keadaan elastis. Dari beberapa hasil yang didapatkan secara teoritis dan experimental yang telah dilakukan maka dalam memperkirakan kekakuan balok dalam keadaan inelastis dengan menggunakan banyak asumsi yang terdapat dalam teori elastisitas terutama dengan menggunakan asumsi deformasi yang terjadi adalah kecil, sehingga dapat diabaikan ketidaksempurnaan balok yang mengakibatkan terjadinya kelengkungan maupun eksentrisitas awal.

Analisis perhitungan untuk balok dengan menggunakan balok sayap lebar dengan memperhitungkan tegangan yang terjadi akibat momen lentur dengan tegangan sisa adalah sebagai berikut :

#### 1. Bagian flens atas

Dari diagram tegangan pada gambar 3 dibawah ini dapat dilihat bahwa tegangan maksimum akibat superposisi dari tegangan akibat momen lentur (gambar 3.a) dengan tegangan sisa (gambar 3.b) terjadi pada kedua ujung flens dimana pada bagian tersebut terdapat tegangan tekan maksimum sehingga leleh akan mulai pada kedua ujung flens yang kemudian akan bergerak ke bagian tengah.



Gambar 4. a. Distribusi tegangan akibat beban luar  
b. Distribusi tegangan sisa di flens bawah  
c. Superposisi tegangan akibat beban luar dengan tegangan sisa

Dari gambar 3 dapat diketahui bahwa :

$$\sigma' = \sigma_{rc} + \sigma - \sigma_y$$

sehingga besarnya leleh pada bagian flens atas dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan segitiga pada diagram tegangan diatas, yaitu :

$$\sigma b = \frac{\sigma b}{2(\sigma_n + \sigma_{rc})} = \frac{(\sigma + \sigma_{rc} + \sigma_{rt})b}{2(\sigma_{rt} + \sigma_{rc})} \dots\dots\dots(15)$$

## 2. Bagian flens bawah

Distribusi tegangan pada bagian flens bawah hampir sama dengan yang terjadi pada flens atas tetapi tegangan lentur yang terjadi adalah tegangan tarik sehingga tegangan maksimum akibat superposisi dengan tegangan sisa dimulai pada bagian tengah flens seperti yang dilihat pada gambar 4. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa :

$$\sigma = \sigma + \sigma_{rt - \sigma_y}$$

$$\beta b = \frac{\sigma' b}{\sigma_{rt}} = \frac{(\sigma + \sigma_{rt} - \sigma_y)}{\sigma_{rt}} b \dots\dots\dots(16)$$

## 3. Bagian bawah web

Distribusi tegangan yang terjadi pada bagian web diaman pada bagian bawah web tegangan yang terjadi akibat lentur dan tegangan sisa adalah sama yaitu tegangan tarik, sehingga tegangan maksimum mulai terjadi pada bagian bawah web ini.

Dari gambar 5 di bawah ini dapat dilihat bahwa perbandingan tegangan yang terjadi di bagian web adalah sebagai berikut :

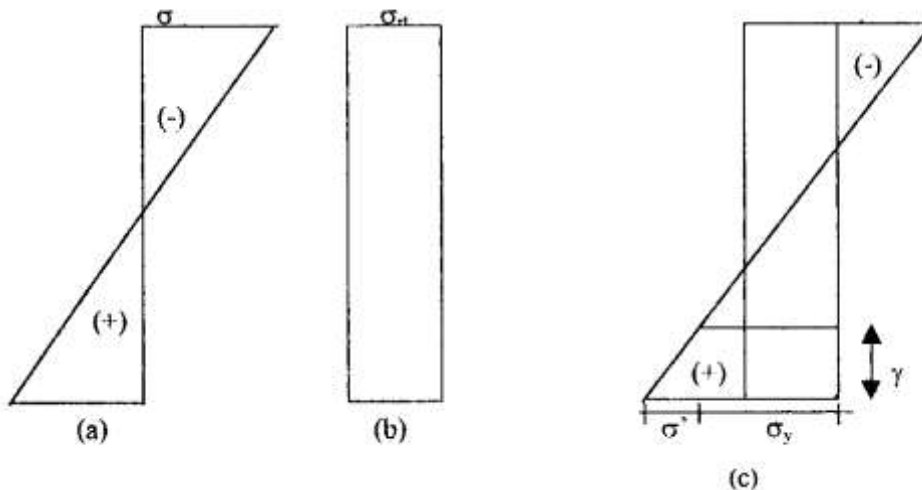
$$\sigma = \sigma + \sigma_{rt - \sigma_y}$$

Sehingga besarnya leleh pada bagian web yang dilambangkan dengan notasi y dapat ditentukan yaitu dengan menggunakan persamaan segitiga pada diagram tegangan tersebut sehingga dihasilkan

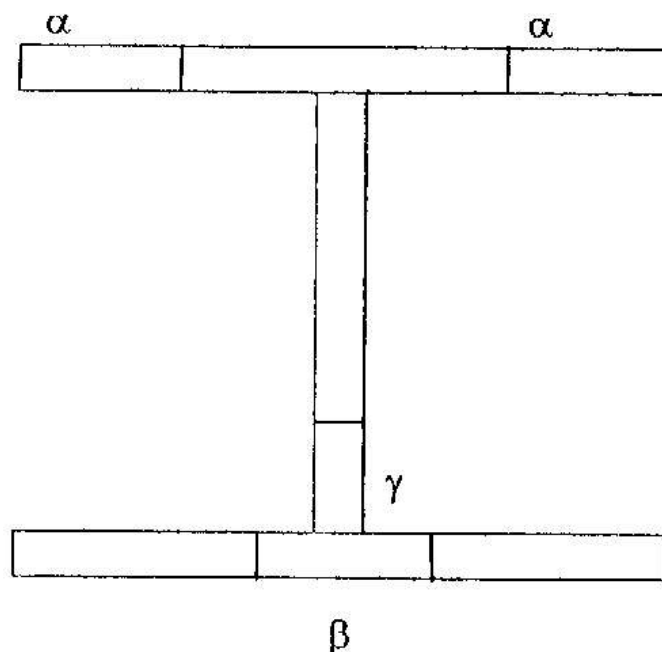
$$y d = \frac{\sigma' (d - 2t)}{2\sigma_{rt}} = \frac{(\sigma + \sigma_{rt} - \sigma_y)(d - 2t)}{2\sigma_{rt}} \quad (17)$$

Kondisi penampang seluruhnya setelah sebagian penampang mengalami leleh dapat dilihat pada gambar 6.

$$y d = \frac{\sigma' (d - 2t)}{2\sigma_{rt}} = \frac{(\sigma + \sigma_{rt} - \sigma_y)(d - 2t)}{2\sigma_{rt}} \quad (17)$$



Gambar 5. a. Distribusi tegangan akibat beban luar  
b. Distribusi tegangan sisa di web  
c. Superposisi tegangan akibat beban luar dengan tegangan sisa



Gambar 6. Leleh yang terjadi pada sebagian penampang

### KESIMPULAN

Dalam tulisan ini telah dibahas hasil penelitian yang menganalisis pengaruh tegangan sisa terhadap penampang baja dengan bentuk sayap lebar (WF shape). Akibat adanya tegangan sisa yang terjadi karena proses fabrikasi pada pembuatan penampang baja tersebut mengakibatkan kekakuan penampang berkurang sehingga terjadi kondisi elastoplastis pada penampang tersebut. Dimana sebagian penampang telah mengalami leleh sebelum beban luar yang dikenakan pada penampang tersebut mencapai momen leleh atau dengan kata lain dapat dikatakan bahwa tegangan yang terjadi belum mencapai tegangan leleh. Oleh karena itu maka dalam perencanaan balok yang terbuat dari penampang baja, harus diperhitungkan pengaruh tegangan sisa tersebut.

### Ucapan terima kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sangat dalam kepada Dr. Ir Adang Surahman Dosen Fakultas Teknik Jurusan Sipil ITB atas bimbingan dan petunjuknya dalam melaksanakan penelitian ini dan juga kepada Ir. Zain hernady A dekan fakultas teknik unlam atas bantuan dan dorongannya

sehingga hasil penelitian ini dapat dijadikan sebuah tulisan ilmiah.

### Daftar Pustaka

- Bleich, F., 1952, Buckling Of Strength Of Metal Structures, Mc Graw-Hill Newyork.
- Beedle, LS, 1958, Plastic Design Of Stell Frames, John Wley & Sons, Inc.
- Wang, C.M. Wang,L., And Ang, K.K, 1994, Beam Buckling Analysis Via Automated RRM, Journal Of Structural Engineering, Asce, Vol.120, No.1.
- Galambos, T.V., 1968, Structural Members And Frames, Prentice Hall, Inc.
- Galambos, TV.,1996, Guide To Stability Design Criteria For Metal Structures, 4<sup>th</sup> John Wiley & Sons, Inc.
- Gaylord, Jr., C.N., And Stallmeyer, Je., 1992, Steel Structures, 3<sup>rd</sup> Ed., Mc Graw-Hill, Inc.